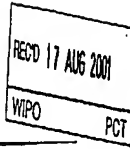


10-089569
09-722



PCT/FR 01/02530



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 07 AOUT 2001

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Marie-France PLANCHÉ

DOCUMENT DE PRIORITÉ
PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260895

REMISE DES PIÈCES DATE 4 AOÛT 2000 LIEU INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0010366 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE 04 AOÛT 2000 PAR L'INPI Vos références pour ce dossier (facultatif) 015732/FR - OPT028 MK/sd		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE Cabinet BALLOT-SCHMIT 16, Avenue du Pont Royal 94230 CACHAN France	
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N°	Date <input type="text"/>
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date <input type="text"/>
Transformation d'une demande de brevet européen		N°	Date <input type="text"/>
Demande de brevet initiale		N°	Date <input type="text"/>
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Laser accordable en semi-conducteur à émission par la tranche.			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation <input type="text"/> N° <input type="text"/> Date <input type="text"/> Pays ou organisation <input type="text"/> N° <input type="text"/> Date <input type="text"/> Pays ou organisation <input type="text"/> N° <input type="text"/> Date <input type="text"/> <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		S.A. (Société Anonyme)	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	54, rue de la Boétie	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays		France	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE 4 AOÛT 2000 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0010366		Réservé à l'INPI	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		015732/FR - OPT028 MK/sd	
6 MANDATAIRE Nom Prénom Cabinet ou Société N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		BORIN Lydie Cabinet BALLOT-SCHMIT	
Adresse	Rue	16, Avenue du Pont Royal	
	Code postal et ville	94230 CACHAN	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 49 69 91 91	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 49 69 91 90	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			
7 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE Établissement immédiat ou établissement différé		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input checked="" type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) BORIN Lydie Cabinet BALLOT-SCHMIT Mandataire n° 94-0506		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.



BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

cerfa
N° 11235*02

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1./1.
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W /260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		015732/FR OPT028		MK/sd
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0010366		
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Laser accordable en semi-conducteur à émission par la tranche.				
LE(S) DEMANDEUR(S) : ALCATEL (S.A.) 5#, rue de la Boétie 75008 PARIS France				
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).				
Nom		JACQUET		
Prénoms		Joël		
Adresse	Rue	Domicilié au Cabinet BALLOT-SCHMIT		
	Code postal et ville	94230	CACHAN	
Société d'appartenance (facultatif)				
Nom				
Prénoms				
Adresse	Rue			
	Code postal et ville			
Société d'appartenance (facultatif)				
Nom				
Prénoms				
Adresse	Rue			
	Code postal et ville			
Société d'appartenance (facultatif)				
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)				
BORIN Lydie Mandataire 94-8506 Cabinet BALLOT-SCHMIT				

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

LASER ACCORDABLE EN SEMI-CONDUCTEUR A EMISSION PAR LA
TRANCHE

La présente invention concerne un laser accordable
en semi-conducteur à émission par la tranche,
5 comportant une cavité laser de longueur réduite de
manière à éviter les sauts de mode.

On utilise couramment des diodes lasers comme
sources accordables dans le cadre d'applications à la
transmission optique de données. Dans un tel contexte,
10 il est important de parvenir à une grande
accordabilité, c'est à dire une grande gamme de
longueur d'onde d'émission du laser, sans craindre les
sauts de mode qui nuisent à la qualité de la
transmission optique.

15 Le graphe de la figure 1 illustre à cet effet
l'accordabilité d'un laser « standard » DBR
(Distributed Bragg Reflector, pour laser à réflecteur
de Bragg). Ce graphe donne la longueur d'onde
d'émission du laser en nm en fonction du courant de
20 commande en mA appliqué sur l'électrode de la section
d'accord du laser. Le courant de commande fait varier
le nombre de porteurs dans la couche active de la
section d'accord et influe sur la longueur d'onde
d'émission du laser. En général, la section de gain
25 d'un laser DBR présente une longueur comprise entre 300
et 900 μm . On constate que pour une accordabilité de $\Delta\lambda =$
17 nm, le laser émet 35 modes différents.

De tels sauts de mode sont également inévitables
lorsque l'on utilise un laser accordable « standard »
30 associé à une technologie d'accordabilité connue sous
le terme de MEM pour « Micro-Electro-Mécanique ». Une
telle technique consiste à faire varier la longueur de

la cavité résonante du laser. En effet, il a été établi qu'en faisant varier la longueur L de la cavité laser, on fait varier la longueur d'onde d'émission λ du laser. La variation de la longueur L est de l'ordre de la variation de la longueur d'onde λ .

Un tel laser est illustré, par exemple, dans la publication "Tunable laser diode using a nickel micromachined external mirror" de Y.Uenishi, K.Honma et S.Nagaoka parue dans Electronics letters du 20 Juin 1996, Vol 32, No 13.

Les figures 2a et 2b schématisent un tel laser standard accordable MEM. La diode laser 10 comporte une cavité délimitée par deux réflecteurs, un fixe et un mobile. La diode laser 10 a une longueur d'environ 300 μm et présente un miroir fixe, clivé par exemple, à l'avant. C'est la variation de la longueur de la cavité qui permet d'accorder le laser. Pour cela, un miroir 20, en Nickel, est placé à l'arrière de la diode laser 10 montée sur une embase 50 afin de faire varier la longueur de la cavité résonante par une commande électrique micro-mécanique 25. Une accordabilité de 20 nm a pu être obtenue avec une précision de 0.01 nm. Néanmoins, le graphe de la figure 2b montre clairement que cette accordabilité n'est pas continue mais présente de nombreux sauts de modes.

Or, les sauts de mode doivent être évités dans les applications aux systèmes de communication optiques denses. Ces systèmes comportent généralement des multiplexeurs en longueur d'onde connus sous le terme anglais de « Wavelength Division Multiplexing » pour WDM. Des lasers accordables sont souvent associés à ces systèmes WDM dont la densité ne cesse d'augmenter.

Il existe également sur le marché de nombreux autres lasers accordables qui peuvent être principalement regroupés en quatre familles.

5 Les lasers accordables connus sous le terme anglo-saxon de « Distributed Feedback Lasers » (DFB). L'accordabilité de ces lasers est contrôlée par la température. Leur puissance de sortie est importante, 30 à 40 mW environ, mais leur accordabilité est limitée à seulement 2 nm, ce qui n'est pas assez pour une
10 application aux systèmes WDM.

Les lasers dits « à cavité externe » comportent un mécanisme d'accordabilité constitué d'un élément optique massif externe tel qu'un filtre ou un réseau par exemple. Ces lasers sont cependant trop chers et
15 massifs pour être implémentés dans des réseaux de télécommunication WDM. De plus, leur fiabilité n'est pas démontrée.

Les lasers multi-sections proposent de réaliser l'accordabilité au moyen de commandes électriques appliquées à différentes sections, qui peuvent être
20 constituées de DFB, de DBR, de SG-DBR (Sample Grating DBR, pour DBR à réseaux échantillonnés), ou de lasers sensibles à la températures. Ces lasers permettent d'obtenir une bonne accordabilité, d'environ 15 à 50
25 nm, avec une puissance de sortie correcte, d'environ 5 à 20 mW, bien que ces valeurs dépendent essentiellement des types de lasers utilisés pour chaque section. Les lasers multi-section sont cependant complexes à mettre en œuvre et à paramétrer, et on connaît mal leur tenue
30 au vieillissement.

La quatrième famille de lasers accordables concerne les lasers à émission verticale par la surface connus sous le terme de VCSEL pour « Vertical Cavity

Surface Emitting Laser », en association avec la technique MEM.

Un tel laser est décrit dans la publication "2mW CW single mode operation tunable 1550 nm vertical cavity emitting laser with 50 nm tuning range" de D.Vakhshoori, P.Tayebati, Chih-Cheng Lu, M.Azimi, P.Wang, Jiang-Huai Zhou et E. Canoglu parue dans Electronics Letters du 27 mai 1999, Vol.35, No 11. Une illustration en est donnée sur la figure 3.

Un tel laser 10 comporte un substrat 8 (InP par exemple) et une région active 11 traversant la cavité encadrée par deux réflecteurs, un fixe 28 et un mobile 25. Le miroir mobile est commandé électriquement par une membrane suspendue 26 permettant de faire varier la longueur de la cavité de manière à accorder la longueur d'onde d'émission du laser.

Un tel laser comporte cependant des limitations technologiques. D'une part quant à la fiabilité et la résistance de la membrane 26 qui commande le miroir mobile 25, et d'autre part quant au procédé de fabrication qui nécessite un amincissement du substrat 8 par une gravure sélective au niveau de la cavité.

En outre, le gain élevé nécessaire pour obtenir un effet laser dans une cavité si petite (de longueur inférieure à 1 μm), les pertes optiques importantes liées à la diffraction, ainsi que l'élévation de la température de la jonction due à une mauvaise dissipation obligent à recourir à une source de pompage optique, ce qui complique l'assemblage de ce laser et accroît son coût.

L'objectif de la présente invention est de résoudre les inconvénients de l'art antérieur.

A cet effet, l'invention propose un laser accordable présentant une accordabilité d'environ 30 nm en continu qui soit facile à réaliser, à implémenter et à contrôler. Le laser selon l'invention, a émission par la tranche, présente des pertes optiques au seuil acceptables pour une accordabilité importante sans sauts de mode.

La présente invention concerne plus particulièrement un laser accordable en semi-conducteur à émission par la tranche comportant une cavité résonante délimitée par deux réflecteurs dont un est fixe et l'autre mobile, ladite cavité étant composée d'une première section active à gain d'une longueur L_1 et d'une deuxième section de longueur L_2 accordable, caractérisé en ce que la longueur totale de la cavité $L = L_1 + L_2$ est inférieure ou égale à 20 μm .

Selon une caractéristique, la longueur L_1 de la section active est comprise entre 5 et 12 μm .

Selon une autre caractéristique, la longueur L_2 de la section accordable dépend de l'accordabilité du laser selon la relation suivante:

$$\Delta\lambda + 1 = \lambda^2 / 2(n_1 L_1 + n_2 L_2)$$

Avec $\Delta\lambda$ l'accordabilité du laser,

λ la longueur d'onde d'émission du laser,

n_1, n_2 les indices de réfraction respectifs de la première et deuxième section de la cavité laser.

Selon une particularité, le laser présente une accordabilité $\Delta\lambda$ en continue supérieure ou égale à 30nm.

Selon une caractéristique, les deux réflecteurs, fixe et mobile, ont chacun une réflectivité supérieure ou égale à 90%.

Selon une caractéristique, le réflecteur fixe est un miroir gravé qui se situe sur la face avant de la section active.

5 Selon les modes de réalisation, le miroir gravé du réflecteur fixe est une alternance de semi-conducteur et d'air ou une alternance de polymère et d'air ou une alternance de semi-conducteur et de polymère.

Selon une autre caractéristique, la face arrière de la section active comporte un traitement antireflet.

10 Selon une autre caractéristique, le réflecteur mobile est un miroir externe à la cavité laser.

Selon les modes de réalisation, le réflecteur mobile est en silicium gravé ou en nickel ou en diélectrique déposé sur du silicium.

15 Selon une particularité, le réflecteur mobile est contrôlé par une commande micro-électro-mécanique (MEM)

Selon un mode de réalisation, la section accordable est une zone d'air.

20 Selon un autre mode de réalisation, la section accordable est une zone de gaz.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un laser accordable en semi-conducteur à émission par la tranche, caractérisé en ce qu'il
25 comporte les étapes suivantes:

- réalisation d'une puce laser comportant au moins un substrat et une couche active constituée d'un milieu à gain, la longueur L_1 du milieu à gain étant comprise entre 5 et 12 μm ,
30
- réalisation d'un miroir gravé fixe sur la face avant de la puce laser,
- report de la puce laser sur une embase,

- réalisation d'un réflecteur mobile sur l'embase à l'arrière de la puce laser.

Selon un premier mode de mise en œuvre, la réalisation du miroir gravé comporte les étapes suivantes:

- gravure de la couche active de la puce laser,
- dépôt d'un polymère dans la zone gravée,
- gravure du polymère pour constituer un miroir.

Selon un deuxième mode de mise en œuvre, la réalisation du miroir gravé comporte les étapes suivantes:

- gravure de la couche active de la puce laser,
- reprise d'épitaxie dans la zone gravée par un semi-conducteur non dopé transparent à la longueur d'onde d'émission,
- gravure du semi-conducteur non dopé transparent pour constituer un miroir.

Selon un troisième mode de mise en œuvre, la réalisation du miroir gravé comporte en outre une étape de dépôt d'un polymère dans les gravures du semi-conducteur non dopé transparent.

L'invention permet astucieusement de réaliser un laser à émission par la tranche dont la cavité est suffisamment courte pour éviter les sauts de mode sur une grande accordabilité tout en limitant les pertes optiques au seuil.

Les lasers à émission par la tranche sont en outre plus faciles à réaliser et implémenter que les lasers à émission verticale par la surface.

De plus, l'accordabilité à l'aide d'une technologie MEM est simple à contrôler et stable dans le temps et aux conditions de température extérieure.

5 D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront au cours de la description qui suit donnée à titre d'exemple illustratif et non limitatif, et faite en référence aux figures dans lesquelles:

- 10 - La figure 1, déjà décrite, est un graphe de la longueur d'onde d'émission d'un laser standard DBR en fonction du courant de commande.
- La figure 2a, déjà décrite, est un schéma d'un laser standard associé à la technologie connue MEM selon l'art antérieur.
- 15 - La figure 2b, déjà décrite, est un graphe de la longueur d'onde d'émission du laser de la figure 2a en fonction de la tension de commande.
- 20 - La figure 3 est une vue schématique en coupe d'un laser MEM-VCSEL de l'art antérieur.
- La figure 4 est une vue schématique en coupe du laser accordable selon l'invention.
- La figure 5 est un graphe du gain du matériau de la section active en fonction de la longueur d'onde d'émission du laser selon l'invention.
- 25 - La figure 6 est un graphe de la longueur d'onde d'émission du laser selon l'invention en fonction de la tension de commande.
- 30

La description qui suit concerne un laser accordable monomode permettant une accordabilité de sa longueur d'onde d'émission d'environ 30 nm en continu.

Le laser selon l'invention, illustré sur la figure 4, présente une cavité 5 de longueur L délimitée par deux réflecteurs 15 et 20.

Selon l'invention, la cavité 5 se décompose en deux sections, une première section 1 active à gain comportant une couche active 11 d'une longueur L_1 et d'une deuxième section 2 de longueur L_2 accordable. Selon une caractéristique essentielle de l'invention, la longueur totale de la cavité $L = L_1 + L_2$ est inférieure ou égale à 20 μm . On parlera par la suite d'une section active 1 et d'une section accordable 2 de la cavité 5.

Les systèmes optiques WDM nécessitent typiquement une accordabilité $\Delta\lambda$ en continue d'au moins 30nm. En d'autres termes, il est nécessaire que l'espacement entre deux modes résonants soit au minimum de 30 nm.

Or, cet espacement $\Delta\lambda$ entre deux modes résonants (Fabry-Perot) est donné par la relation suivante:

$$\Delta\lambda = \lambda^2 / 2(n_g * L)$$

Avec n_g l'indice effectif du guide d'onde et λ la longueur d'onde d'émission du laser.

Cela conduit à la relation sur L, la longueur de la cavité, $L < \lambda^2 / 2(n_g * \Delta\lambda)$.

Ainsi, par exemple, pour $\lambda = 1.55\mu\text{m}$, $n_g = 3.3$ (indice du guide 11 en InP si on considère que la deuxième section est de l'air) et $\Delta\lambda = 30\text{nm}$, on obtient $L < 12 \mu\text{m}$.

Cette condition sur la longueur totale L de la cavité 5 dépend fortement des conditions de fabrication, d'émission et de l'accordabilité recherchée.

Préférentiellement, on réalise une puce laser 10 de manière à ce que la longueur L_1 de la section active 1 soit comprise entre 5 et 12 μm .

La longueur L_2 de la section accordable 2 dépend alors de l'accordabilité souhaitée selon la relation suivante:

$$\Delta\lambda = \lambda^2 / 2(n_1L_1 + n_2L_2)$$

5 Avec $\Delta\lambda$ l'accordabilité du laser,
 λ la longueur d'onde d'émission du laser,
 n_1, n_2 les indices de réfraction respectifs de
la première et deuxième section de la cavité
laser.

10 Cette relation exprime que la cavité laser est
définie de telle manière qu'il n'y ait qu'un mode
résonnant sur la plage d'accordabilité $\Delta\lambda$. Une
conséquence de cette relation est le fonctionnement
monomode du laser.

15 Sur la figure 5, on a reporté le gain du matériau g
de la section active 1 en fonction de la longueur
d'onde d'émission du laser λ . La relation utilisée est
la suivante :

$$g = g_0 + 2.66 \Delta\lambda - 0.247(\Delta\lambda)^2 - 0.00171(\Delta\lambda)^3$$

20 Si on considère un mode résonant au maximum de la
courbe du gain (point A à 1545nm), les modes
secondaires doivent se situer à 30nm (points B et C).
Or, le gain matériau pour ces point B et C est
inférieur à -250cm^{-1} alors qu'il est de $+6\text{cm}^{-1}$ pour le
25 mode principal au point A. On peut donc affirmer que le
laser aura une émission sur un seul mode puisqu'un
critère généralement admis pour qualifier un laser
monomode est d'avoir une différence de gain de 5cm^{-1}
seulement entre le mode principal et les modes
30 « secondaires ».

Si on considère un cas moins favorable avec deux
modes résonants proches des extrémités de la bande
d'accordabilité (points D à 1530 nm et E à 1560 nm), le
laser pourrait avoir un fonctionnement bimode en

oscillant sur ces deux modes étant donné la faible différence de gain matériau entre les deux. Afin d'éviter un tel fonctionnement il suffit de générer une variation de gain d'au moins 5cm^{-1} et d'éloigner les modes résonants de 1 nm supplémentaire pour un composant accordable sur 30 nm (d'après la relation $g(\lambda)$ précédemment décrite). En toute rigueur, l'équation d'accordabilité précédente doit donc s'écrire : $\Delta\lambda + 1 = \lambda^2 / 2(n_1L_1 + n_2L_2)$

Le problème que doit résoudre l'invention consiste alors à réaliser une cavité aussi petite (L_1 comprise entre 5 et 12 μm) pour un laser à émission par la tranche.

En effet, la cavité 5 est délimitée par deux réflecteurs 15 et 20. Or, sur une section active 1 de longueur L_1 comprise entre 5 et 12 μm , il n'est pas possible de réaliser un miroir fixe 15 par la technique classique du clivage qui comporte une précision de l'ordre de $\pm 5\mu\text{m}$.

La technique connue de l'empilement de Bragg, utilisée pour réaliser des miroirs sur la surface de composants comme les VCSELs, n'est pas applicable à la réalisation de miroirs sur la tranche de composants comme les lasers à émission par la tranche qui nous concernent.

Le réflecteur fixe 15 doit donc être un miroir gravé. Plusieurs techniques sont alors envisageables.

Une première technique consiste à réaliser une gravure de la couche active 11 de la diode laser 10 jusqu'au substrat 8, puis à procéder à une reprise d'épitaxie, également connue sous le terme anglais de "butt coupling" dans un matériau non actif transparent à la longueur d'onde d'émission du laser dans lequel on

peut graver le miroir 15. Le matériau utilisé pour la recroissance épitaxiale est préférentiellement de l'InP non dopé (indice 3.17). Une gravure, sèche ou humide selon les techniques connues, est alors réalisée dans le semi-conducteur épitaxié pour créer un miroir réfléchissant.

Une deuxième technique consiste à réaliser une gravure de la couche active 11 de la diode laser 10 jusqu'au substrat 8, puis à procéder à un dépôt de polymère, par exemple du benzocyclobutène (BCB) que l'on grave pour obtenir un miroir réfléchissant.

Ces deux techniques peuvent également être combinées dans une troisième, en réalisant un dépôt de polymère dans les gravures du semi-conducteur épitaxié afin d'avoir une alternance semi-conducteur - polymère au lieu d'une alternance semi-conducteur - air ou d'une alternance polymère - air.

Selon une particularité de l'invention, les deux réflecteurs, le fixe 15 et le mobile 20, présentent chacun une réflectivité R supérieure ou égale à 90% afin de compenser la faible longueur L_1 de la section active 1. En effet, la condition au seuil du laser s'exprime par la relation suivante : $\alpha = 1/L_1 \log(1/R)$.

Selon l'invention, le miroir mobile 20 est associé à une commande MEM dont la mise en œuvre a été décrite précédemment.

Ce miroir mobile 20 peut être réalisé selon diverses techniques connues, telles qu'une gravure anisotropique sur silicium ou un micro-polissage sur du Nickel ou un dépôt de diélectrique sur silicium.

La puce laser 10 est reportée sur une embase 50, en silicium par exemple, et le miroir mobile 20 est fixé

sur cette embase 50 de manière à être placé en vis à vis de la face arrière de la puce 10 pour compléter la cavité 5. La face arrière de la puce 10 comporte avantageusement un revêtement antireflet.

5 L'accordabilité du laser dépend fortement des matériaux utilisés dans sa fabrication puisqu'ils déterminent les indices de réfraction.

La section active 1 de la cavité 5 est constituée du milieu à gain de la couche active 11. Il peut
10 s'agir, par exemple, d'un matériau massif tel que InGaAsP, InGaAs, InGaAlAs ou d'une structure à puits quantiques préférentiellement contraints.

La section accordable 2 de la cavité est de l'air, ou un gaz pour une application à des détecteurs de gaz
15 par exemple, la présence d'un gaz modifiant l'indice de réfraction de la section accordable et modifiant ainsi la longueur d'onde d'émission du laser.

Le graphe de la figure 6 illustre bien
20 l'accordabilité continue du laser selon l'invention. La variation de la longueur d'onde d'émission du laser est directement liée à la variation de la longueur L_2 de la section accordable 2 de la cavité 5 du laser. Cette variation de la longueur L_2 est elle même liée au carré
25 de la tension de commande appliquée au MEM.

Les relations suivantes ont pu être établies :

$$\Delta\lambda = 2 \Delta L_2$$

$$\text{avec } \Delta L_2 = k \cdot V^2$$

et k une constante dont la valeur a été déterminée
30 à 0.8 nm/V².

REVENDEICATIONS

1. Laser accordable (10) en semi-conducteur à émission par la tranche comportant une cavité résonante délimitée par deux réflecteurs (15, 20) dont un est fixe (15) et l'autre mobile (20), ladite cavité étant
 5 composée d'une première section (1) active à gain d'une longueur L_1 et d'une deuxième section (2) de longueur L_2 accordable, caractérisé en ce que la longueur totale de la cavité $L = L_1 + L_2$ est inférieure ou égale à 20 μm .

10 2. Laser accordable selon la revendication 1, caractérisé en ce que la longueur L_1 de la section active (1) est comprise entre 5 et 12 μm .

15 3. Laser accordable selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que la longueur L_2 de la section accordable (2) dépend de l'accordabilité du laser selon la relation suivante:

$$\Delta\lambda + 1 = \lambda^2 / 2(n_1 L_1 + n_2 L_2)$$

20 Avec $\Delta\lambda$ l'accordabilité du laser,
 λ la longueur d'onde d'émission du laser,
 n_1, n_2 les indices de réfraction respectifs de la première et deuxième section de la cavité laser.

25 4. Laser accordable selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il présente une accordabilité $\Delta\lambda$ en continue supérieure ou égale à 30nm.

5. Laser accordable selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les deux réflecteurs, fixe (15) et mobile (20), ont chacun une réflectivité supérieure ou égale à 90%.

5

6. Laser accordable selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le réflecteur fixe (15) est un miroir gravé.

10

7. Laser accordable selon la revendication 6, caractérisé en ce que le miroir gravé du réflecteur fixe (15) est une alternance de semi-conducteur et d'air.

15

8. Laser accordable selon la revendication 6, caractérisé en ce que le miroir gravé du réflecteur fixe (15) est une alternance de polymère et d'air.

20

9. Laser accordable selon la revendication 6, caractérisé en ce que le miroir gravé du réflecteur fixe (15) est une alternance de semi-conducteur et de polymère.

25

10. Laser accordable selon l'une des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que le réflecteur fixe (15) se situe sur la face avant de la section active (1).

30

11. Laser accordable selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la face arrière de la section active (1) comporte un traitement antireflet.

12. Laser accordable selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le

réflecteur mobile (20) est un miroir externe à la cavité laser.

5 13. Laser accordable selon la revendication 12, caractérisé en ce que le réflecteur mobile (20) est en silicium gravé.

10 14. Laser accordable selon la revendication 12, caractérisé en ce que le réflecteur mobile (20) est en nickel.

15 15. Laser accordable selon la revendication 12, caractérisé en ce que le réflecteur mobile (20) est en diélectrique déposé sur silicium.

16 16. Laser accordable selon l'une des revendications 12 à 15, caractérisé en ce que le réflecteur mobile (20) est contrôlé par une commande micro-électromécanique (MEM).

20 17. Laser accordable selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la section accordable (2) est une zone d'air.

25 18. Laser accordable selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la section accordable (2) est une zone de gaz.

30 19. Procédé de fabrication d'un laser accordable en semi-conducteur à émission par la tranche selon les revendications 1 à 18, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes:

- réalisation d'une puce laser (10) comportant au moins un substrat (8) et une couche

- active (11) constituée d'un milieu à gain, la longueur L_1 du milieu à gain étant comprise entre 5 et 12 μm ,
- réalisation d'un miroir gravé fixe (15) sur la face avant de la puce laser (10),
 - report de la puce laser (10) sur une embase (50),
 - réalisation d'un réflecteur mobile (20) sur l'embase (50) à l'arrière de la puce laser (10).

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que la réalisation du miroir gravé (15) comporte les étapes suivantes:

- gravure de la couche active de la puce laser,
- dépôt d'un polymère dans la zone gravée,
- gravure du polymère pour constituer un miroir.

21. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que la réalisation du miroir gravé (15) comporte les étapes suivantes:

- gravure de la couche active de la puce laser,
- reprise d'épitaxie dans la zone gravée par un semi-conducteur non dopé transparent à la longueur d'onde d'émission,
- gravure du semi-conducteur non dopé transparent pour constituer un miroir.

22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que la réalisation du miroir gravé (15) comporte

en outre une étape de dépôt d'un polymère dans les gravures du semi-conducteur non dopé transparent.

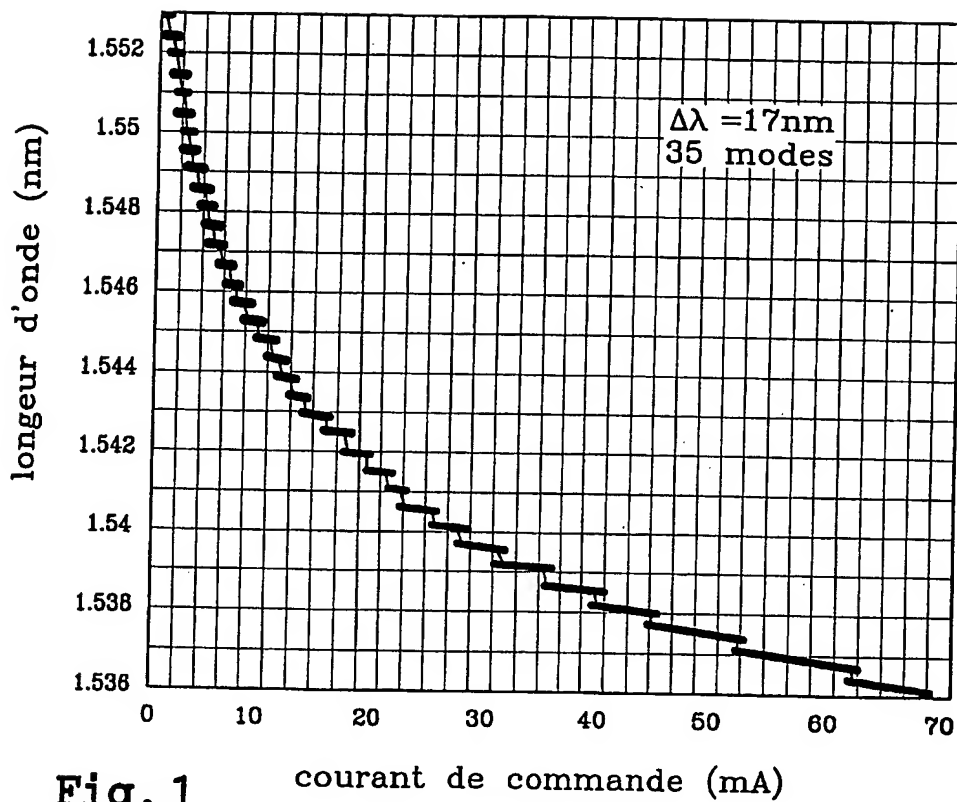


Fig. 1

Fig. 2a

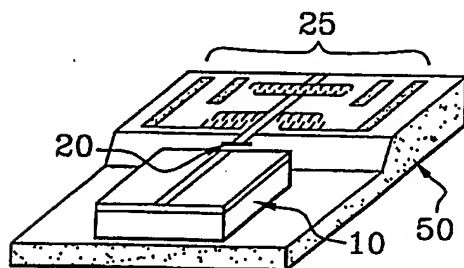
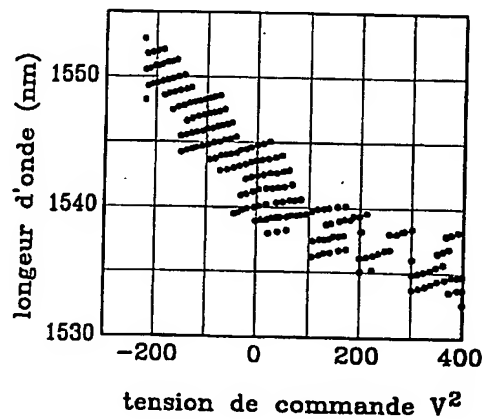


Fig. 3a



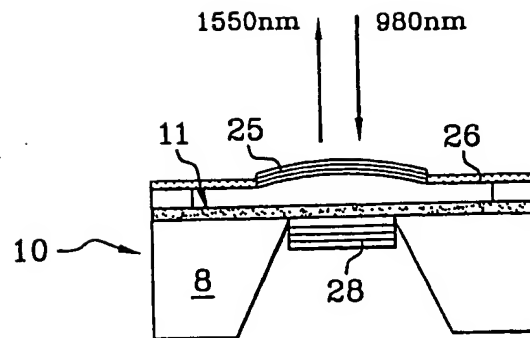


Fig. 3

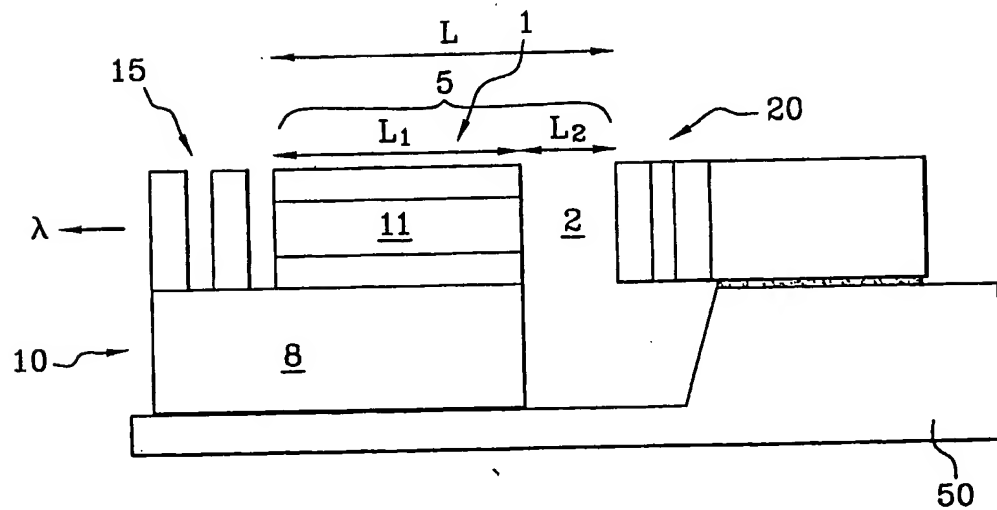
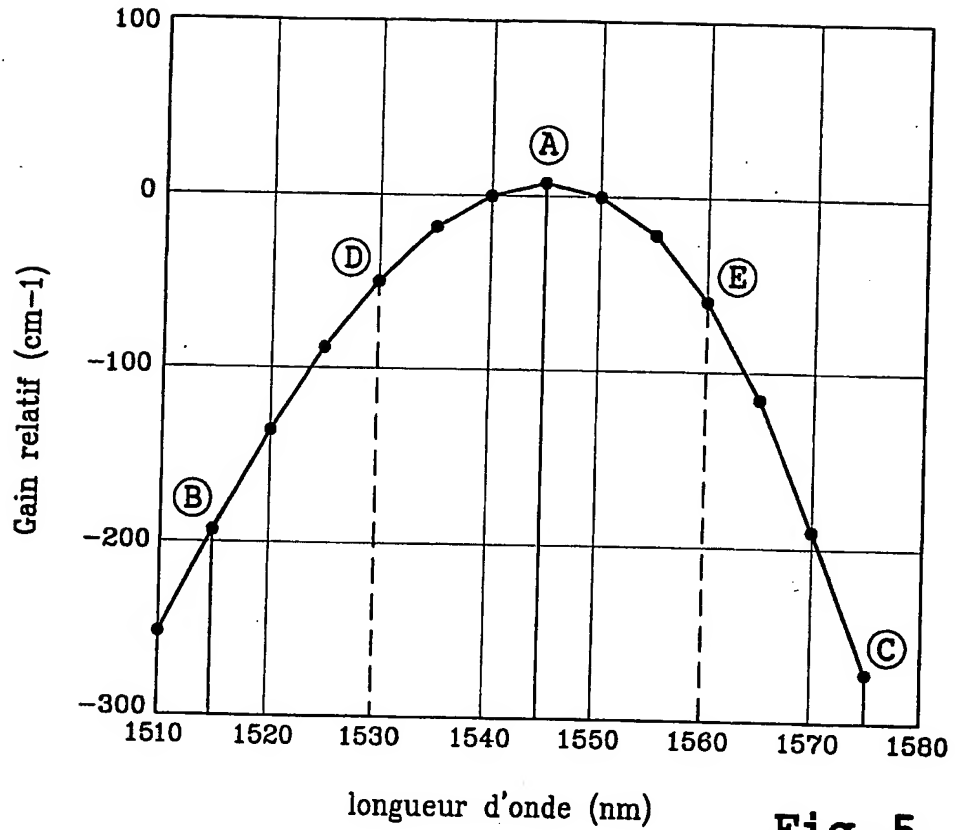
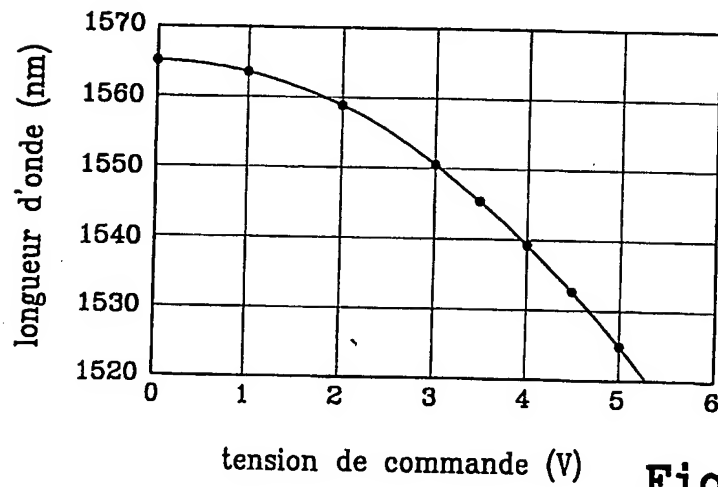


Fig. 4

Fig. 5Fig. 6